6Д

УДК 675.014.017; 535.31; 658.512

М.В. Дубровкина
Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра», г. Луганск, Украина
margarita_dubrov@mail.ru

Математическая модель интеллектуальной системы считывания перфорированного кода с кожи

В статье разработана математическая модель интеллектуальной системы считывания перфорированного кода для кожевенного производства. Данная система обеспечивает достоверность считанного кода с кожи с учетом ее особенностей на всех этапах обработки.

Для того, чтобы обеспечить высокое качество изготавливаемой продукции, необходимо отследить точность соблюдения технологических режимов, что обеспечивается однозначной идентификацией изделий на каждом этапе обработки и контролем технологических режимов. Для решения этой задачи применяют маркировку кожи в виде перфорированного кода [1]. Для считывания кода применяется оптоэлектронный метод на отражение [2]. При считывании перфорированного кода на различных этапах обработки кожи могут появиться ошибки, обусловленные:

– деформацией кожи в процессе технологической обработки и, как следствие, деформацией маркировочного кода [3];
– присутствием дефектов поверхности кожи, которые могут вносить ошибку при формировании изображения кода [4], [5];
– разнообразием кож и их особенностями на различных этапах обработки (на некоторых этапах – мокрая, пропитана химреагентами, имеет различный цвет, покрытие) [6].

Для обеспечения достоверности считывания кода в условиях вышеперечисленных помех предложен алгоритм выбора наилучшего варианта подсветки – верхней или боковой, который обеспечивает максимальное значение контраста изображения считанного кода [6]. При верхней подсветке код считывается по освещенным перфорированным отверстиям. Применяется для темных, не бликующих кож. При боковой подсветке код считывается по затененным отверстиям. Применяется для светлых и для бликующих кож.

Постановка задачи

На достоверность считывания кода влияет не только контраст изображения считанного кода, но и площадь освещенного или затененного отверстия (в зависимости от выбора варианта подсветки). Поэтому были проведены исследования влияния подсветки (которая задается углами направления светового потока) на площадь освещенного или затененного отверстия, а следовательно, и на достоверность считанного кода.

При считывании кода с применением верхней подсветки его достоверность зависит от площади освещенного отверстия [7]. Если площадь освещенного отверстия $S_{осв} \ll S_{отв}$, (где $S_{отв}$ – площадь перфорированного отверстия), а в худшем случае если $S_{осв} = 0$, то код считается неправильно. Если площадь освещенного отверстия соизмерима с площадью перфорированного отверстия, то код считается достоверно.

При считывании кода с применением боковой подсветки изображение перфорированного отверстия состоит из затененной и освещенной областей. Так как на светлых и бликующих кожах значение контраста между затененной областью отверстия и кожей больше, чем между освещенной областью отверстия и кожей, то достоверность считывания кода в данном случае зависит от площади затененной области отверстия. Если площадь затененной области отверстия соизмерима с площадью перфорированного отверстия, то код считается достоверно.

Цель работы. Разработка математической модели интеллектуальной системы считывания перфорированного кода с кожи для кожевенного производства.

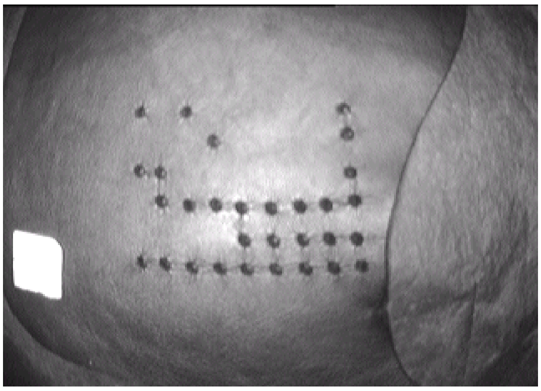
Решение задачи

На основании проведенных в [6] исследований зависимости контраста считанного изображения от светотехнических параметров процесса считывания. В результате было установлено, что все кожи можно условно разделить на 3 группы:

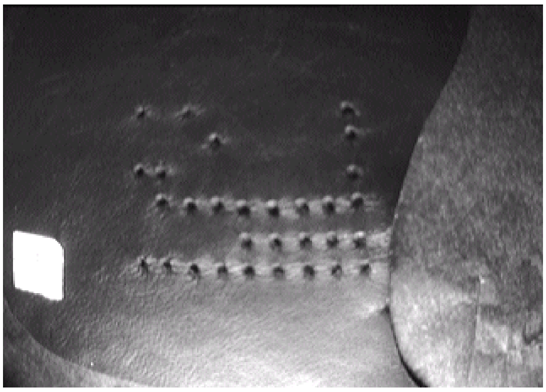
– первая группа кож – уровень черного которых $Bl > 0{,}5$ и контраст при считывании по затененным отверстиям ниже, чем по освещенным $K_{осв} > K_{тен}$ (рис. 1);

– вторая группа кож – уровень черного которых $Bl > 0{,}5$ и контраст при считывании по затененным отверстиям выше, чем по освещенным $K_{осв} < K_{тен}$;

– третья группа кож – уровень черного которых $Bl \leq 0{,}5$ и контраст при считывании по затененным отверстиям выше, чем по освещенным, т.е. $K_{осв} < K_{тен}$ (рис. 2).

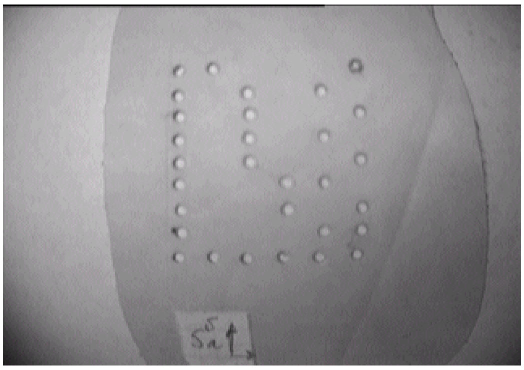


а

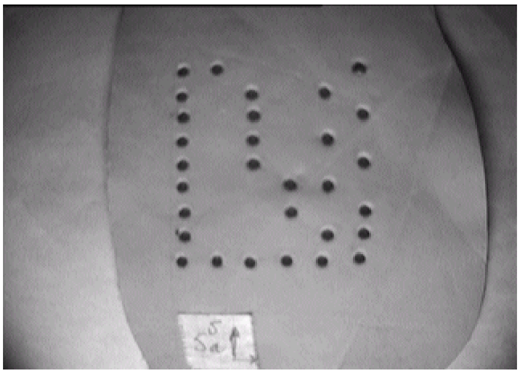


б

Рисунок 1 – Изображение перфокода на темной коже при считывании по освещенным (а) и затененным (б) отверстиям кода



а



б

Рисунок 2 – Изображение перфокода на светлой коже при считывании по освещенным (а) и затененным (б) отверстиям кода

Таким образом для 1-й группы кож – считывание будет выполняться по освещенным отверстиям кода.

Следовательно, достоверность считанного кода F(d) = 1, если получено четкое изображение перфорированного кода при следующих основных характеристиках.

При считывании по освещенным отверстиям кода:

– контраст изображения перфорированного кода

$$K_{осв} = k_{сф} \cdot \frac{|(L_{0осв} - L_{Фосв})|}{L_{0осв}} \geq K_{порог},$$

где $к_{сф}$ – коэффициент использования светофильтра;

$L_{0овс}$ – яркость области перфорированных отверстий при их освещении;

$L_{Фосв}$ – яркость фона (кожи) при освещении перфорированных отверстий;

$K_{порог}$ – предельное (пороговое) значение контраста, при котором получается четкое изображение перфорированного кода;

– площадь освещенного отверстия

$$\begin{aligned}
&S_{осв}(C_X, C_Y, h, \alpha, \beta, R_V, R_N) = \\
&2 \cdot \frac{\pi \cdot R_V^2}{360} \arccos\left(\frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{2 \cdot R_V \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \right) - \\
&-R_V \cdot \frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{2 \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \times \\
&\times \sin\left[\arccos\left(\frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{4 \cdot R_V \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \right) \right] + \\
&+2 \cdot \frac{\pi \cdot R_N^2}{360} \arccos\left(\frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{2 \cdot R_N \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \right) - \\
&-R_N \cdot \frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{2 \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \times \\
&\times \sin\left[\arccos\left(\frac{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{4 \cdot R_N \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan\alpha \cdot \sin\beta)^2}} \right) \right].
\end{aligned},$$

где C_X – механическое смещение центра отверстия по оси ОХ;

C_Y – механическое смещение центра отверстия по оси OY;

h – толщина кожи;

R_V и R_N – минимальные полуоси отверстия в верхней плоскости кожи и нижней соответственно;

α, β – направление светового потока (α – угол между световым потоком и перпендикуляром к плоскости кожи, β – угол поворота светового потока в плоскости кожи).

При $S_{min} \leq S_{осв}(C_X, C_Y, h, \alpha, \beta, R_V, R_N) \leq S_{max}$ при

$$S_{min} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot ((\prod (1 - k_{n_x})^2 + \prod (1 - k_{n_y})^2)^2 \text{ и } S_{max} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot (\prod k_{n_x}^2 + \prod k_{n_y}^2)^2,$$

где $D_0 = 3$ *мм* – диаметр перфорированного отверстия при нанесении кода;

k_{p_x} и k_{p_y} – коэффициенты изменения значения геометрических параметров кода по оси X и Y на всех пройденных до данного считывания этапах обработки.

При считывании по затененным отверстиям кода:

– контраст изображения перфорированного кода

$$K_{тен} = k_{сф} \cdot \frac{|(L_{0тен} - L_{Фтен})|}{L_{0тен}} \geq K_{порог},$$

где $L_{0тен}$ – яркость области перфорированных отверстий при их затенении;

$L_{Фтен}$ – яркость фона (кожи) при затенении перфорированных отверстий;

– площадь затененного отверстия перфокода:

а) если нет механического смещения оси отверстия:

$$S_{тен}(h, \alpha, \beta, D\,max_v, D\,min_v, D\,max_v, D\,min_n) = \int_{T_2}^{T_1} (y_1(x) - y_2(x))dx,$$

$$где \begin{cases} y_{1,2}(x) = \dfrac{n \cdot b}{2 \cdot a \cdot g \cdot (m^2 \cdot b^2 - c^2 \cdot n^2)} \cdot (2 \cdot a \cdot b \cdot m^2 \cdot (g - x) \pm \\ \pm 2 \cdot (c^2 \cdot x^2 \cdot (m^2 \cdot b^2 \cdot g^2 + n^2 \cdot m^2 \cdot a^2 - c^2 \cdot n^2 \cdot g^2) + \\ + c^2 \cdot n^2 \cdot m^2 \cdot a^2 \cdot g(g - 2 \cdot x))^{\frac{1}{2}}), \\ T_{1,2} = \dfrac{a \cdot g \cdot n \cdot m \cdot (2 \cdot a \cdot n \cdot m \pm 2 \cdot (c^2 \cdot n^2 \cdot g^2 - m^2 \cdot b^2 \cdot g^2)^{\frac{1}{2}})}{2 \cdot (m^2 \cdot b^2 \cdot g^2 + n^2 \cdot m^2 \cdot a^2 - c^2 \cdot n^2 \cdot g^2)}, \\ при \begin{cases} a = \dfrac{D\max_v}{2}, \\ b = \dfrac{D\min_v}{2}, \\ c = \dfrac{h \cdot D\max_v}{D\max_v - D\max_n} = \dfrac{h \cdot D\min_v}{D\min_v - D\min_n}, \\ g = \dfrac{D\max_v \cdot \cos\beta}{2 \cdot (D\max_v - D\max_n)} \cdot (2 \cdot h \cdot tg\alpha - (D\max_v - D\max_n)), \\ n = \dfrac{D\max_v \cdot \sin\beta}{2 \cdot (D\min_v - D\min_n)} \cdot (2 \cdot h \cdot tg\alpha - (D\min_v - D\min_n)), \\ m = \dfrac{D\max_v}{2 \cdot tg\alpha \cdot (D\max_v - D\max_n)} \cdot (2 \cdot h \cdot tg\alpha - (D\max_v - D\max_n)), \end{cases} \end{cases}$$

где $Dmax_v$, $Dmin_v$, $Dmax_n$, $Dmin_n$ – соответственно максимальные и минимальные диаметры перфорированного отверстия в нижней и верхней плоскости кожи.

Угол между направлением светового потока и перпендикуляром с плоскости кожи $\alpha_3 > \alpha \geq \alpha_2$.

При этом $\alpha_3 = arctg(\dfrac{\sqrt{(\frac{D\,max_v}{2} \cdot cos(\beta))^2 + (\frac{D\,min_v}{2} \cdot sin\,\beta)^2}}{h\,max_{def}})$ и

$$\alpha_2 = arctg(\frac{\sqrt{(\frac{D\,max_n}{2} \cdot cos(\beta))^2 + (\frac{D\,min_n}{2} \cdot sin\,\beta)^2}}{h} +$$

$$\frac{+(\sqrt{(\frac{D\,max_v}{2} \cdot cos(\beta))^2 + (\frac{D\,min_v}{2} \cdot sin\,\beta)^2} - \sqrt{(\frac{D\,max_n}{2} \cdot cos(\beta))^2 + (\frac{D\,min_n}{2} \cdot sin\,\beta)^2}) \cdot 0{,}5}{h}),$$

где $h\,max_{def}$ – максимально допустимая глубина несквозных дефектов кожи (50 % общей толщины кожи).

И должно удовлетворять условию

$$S_{min} \le S_{тен}(h,\alpha,\beta,D\,max_v,D\,min_v,D\,max_v,D\,min_n) \le S_{max},$$

где $S_{min} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0{}^2 \cdot (\prod (1-k_{n_x})^2 + \prod (1-k_{n_y})^2$,

$$S_{max} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0{}^2 \cdot (\prod k_{n_x}^2 + \prod k_{n_y}^2)^2 \cdot$$

б) если присутствует механическое смещение оси отверстия:

$$SтенS_{тен}(h,\alpha,\beta,D\,max_v,D\,min_v,D\,max_v,D\,min_n,Cx,Cy) = \int_{T_2}^{T_1}(F(x^/,y^/))dx,$$

$$где_F(x^/,y^/) = \begin{cases} A_0 = F_0(x,y,z) = \dfrac{(x\cdot\cos(\phi_1)+y\cdot\cos(\phi_2)+z\cdot\cos(\phi_3))^2}{a^2} + \\ + \dfrac{(x\cdot\cos(\rho_1)+y\cdot\cos(\rho_2)+z\cdot\cos(\rho_3))^2}{b^2} - \\ - \dfrac{(x\cdot\cos(\tau_1)+y\cdot\cos(\tau_2)+z\cdot\cos(\tau_3))^2}{c^2} = 0, \\ где \begin{cases} \phi_1 = \arccos(\dfrac{C_X}{C_M}), \\ \phi_2 = \dfrac{\pi}{2} + \arccos(\dfrac{C_X}{C_M}), \\ \phi_3 = \dfrac{\pi}{2} + arctg(\dfrac{h}{C_M}), \\ \rho_1 = \dfrac{\pi}{2} + \arccos(\dfrac{C_Y}{C_M}), \\ \rho_2 = \arccos(\dfrac{C_Y}{C_M}), \\ \rho_3 = \dfrac{\pi}{2} + arctg(\dfrac{h}{C_Y}), \\ \tau_1 = \dfrac{\pi}{2} + arctg(\dfrac{C_X}{h}), \\ \tau_2 = \dfrac{\pi}{2} + arctg(\dfrac{C_Y}{h}), \\ \tau_3 = arctg(\dfrac{C_M}{h}), \\ a = \dfrac{D\max_v}{2}, \\ b = \dfrac{D\min_v}{2}, \\ c = \dfrac{h\cdot D\max_v}{D\max_v - D\max_n} = \dfrac{h\cdot D\min_v}{D\min_v - D\min_n}, \end{cases} \\ C = F_2(x,y,z) = F_2(B) = \dfrac{x}{g} + \dfrac{y}{n} + \dfrac{z}{m} - 1 = 0, \\ где \begin{cases} g = \dfrac{D\max_v \cdot \cos\beta}{2\cdot(D\max_v - D\max_n)} \cdot (2\cdot h\cdot tg\alpha - (D\max_v - D\max_n)), \\ n = \dfrac{D\max_v \cdot \sin\beta}{2\cdot(D\min_v - D\min_n)} \cdot (2\cdot h\cdot tg\alpha - (D\min_v - D\min_n)), \\ m = \dfrac{D\max_v}{2\cdot tg\alpha\cdot(D\max_v - D\max_n)} \cdot (2\cdot h\cdot tg\alpha - (D\max_v - D\max_n)), \end{cases} \end{cases}$$

где $C_M = \sqrt{C_X{}^2 + C_Y{}^2}$ – C_X и C_Y – значения механического смещения оси отверстия по оси X и по Y.

Должно выполняться условие $S_{min} \le S_{тен} \le S_{max}$,

$$\text{где } S_{min} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0{}^2 \cdot (\prod (1-k_{n_x})^2 + \prod (1-k_{n_y})^2 \text{ и}$$

$$S_{max} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0{}^2 \cdot (\prod k_{n_x}^2 + \prod k_{n_y}^2)^2 .$$

Иначе F(d) = 0.

При считывании перфорированного кода (и по освещенным, и по затененным отверстиям) возможно возникновение ошибки считывания из-за дефектов поверхности кожи. На основании проведенных в [4] исследований все дефекты поверхности кожи были разделены на 2 группы – соизмеримые с отверстиями кода и несоизмеримые.

Для отсечения несоизмеримых дефектов (протяженные царапины, клеймение, несоизмеримые потертости, несоизмеримые выхваты и проколы) необходимо ввести граничные значения размеров отверстий кода:

$$\begin{cases} Dmax_v \le D_{max} = D_0 \cdot (\prod k_{n_x}^2 + \prod k_{n_y}^2)^2, \\ Dmin_v \ge D_{min} = D_0 \cdot (\prod (1-k_{n_x})^2 + \prod (1-k_{n_y})^2, \\ \dfrac{Dmax_v}{Dmin_v} \le \dfrac{(\prod k_{n_x}^2 + \prod k_{n_y}^2)^2}{(\prod (1-k_{n_x})^2 + \prod (1-k_{n_y})}. \end{cases}$$

В случае невыполнения данных условий вполне возможно, что это не перфорированное отверстие, а дефект поверхности кожи.

Также все дефекты можно разделить на сквозные и несквозные. Для отсечения несквозных соизмеримых дефектов (соизмеримые потертости, точечные царапины, дефекты покраски и перегибы) введем ограничение $h_{def} \le hmax_{def}$ – максимально допустимая глубина несквозных дефектов кожи (50 % общей толщины кожи). В данном случае на изображении считанного кода дефекты отличаются от отверстий кода яркостью и их (дефекты) можно отсеять за счет выбора наилучшего варианта подсветки, который обеспечивает максимальное значение контраста изображения считанного кода.

Для отсечения дефектов, соизмеримых по размерам с отверстиями кода и при этом еще и сквозных (соизмеримые выхваты, прожиги, проколы), рекомендуется проверка кода при дальнейшем распознавании.

Выводы

Разработана математическая модель интеллектуальной системы считывания перфорированного кода, которая адекватно отображает реальный процесс считывания в условиях кожевенного производства и учитывает:

– присутствие дефектов поверхности кожи, которые могут вносить ошибку при формировании изображения кода;

– деформацию кожи в процессе технологической обработки и, как следствие, деформацию маркировочного кода;

– разнообразие кож и их особенности на различных этапах обработки (пропитана химреагентами, окрашена, обработана поверхность).

Алгоритм, реализованный по результатам исследования математической модели, позволит за счет выбора наилучшего варианта подсветки (по освещению или затенению отверстий кода) обеспечить достоверно считанный код.

Литература

1. Дубровкина М.В. Комплекс идентификации и контроля изделий для АСУ ТП кожевенного производства // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2006. – № 9 (103). – Частина 1. – С. 135-139.
2. Дубровкина М.В., Шаповалов В.Д. Математическая модель устройства считывания кода информационно-аналитической системы управления технологическим процессом // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Днепропетровськ, 2007. – Випуск 2 (49). – С. 118-122.
3. Дубровкина М.В. Исследование влияния технологического процесса на характеристики кода // Адаптивные системы автоматического управления: Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 10 (30). – Днепропетровск, 2007. – С. 32-44.
4. Дубровкина М.В. Исследование влияния дефектов поверхности кожи на формирование перфорированного кода при контроле качества изделий для АСУ ТП кожевенного производства // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2007. – № 5 (111). – Ч. 1. – С. 183-188.
5. Дубровкина М.В. Исследование влияния случайной составляющей на формирование образа перфорированного кода // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 15 – 19 травня 2007 р.). – К.: НТУУ «КПІ». – 2007. – С. 106.
6. Ульшин В.А., Дубровкина М.В. Адаптивный алгоритм считывания перфорированного кода // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 113-122.
7. Ульшин В.А., Дубровкина М.В. Исследование влияния верхней подсветки на достоверность считывания перфорированного кода с кожи // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2008. – № 7 (125).

М.В. Дубровкіна
Математична модель інтелектуальної системи зчитування перфорованого коду з шкіри
У статті розроблена математична модель інтелектуальної системи зчитування перфорованого коду для шкіряного виробництва. Наведена система зчитування забезпечує достовірність зчитаного коду з шкіри з урахуванням її особливостей на всіх етапах обробки.

M.V. Dubrovkina
Mathematical Model of Intellectual Reading System of Perforated Code from Leather
In the article a mathematical model of an intellectual reading system of a perforated code for leather industry was developed. This system takes into account peculiarities of leather at all times of the processing and provides accuracy of the code read from leather by means of choice of the best variant of highlighting (on lightening or occultation of code apertures).

Статья поступила в редакцию 10.07.2008.